

Electromagnétisme, Thermodynamique

Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :

« La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la **clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs. »

Problème 1 : Rail de Laplace vertical

On considère un dispositif de rail de Laplace vertical, dans lequel une barre métallique PQ , de masse m , peut glisser sans frottement le long de deux rails verticaux distants de a . Ces rails sont reliés à un générateur de tension, délivrant une force électromotrice continue U_0 .

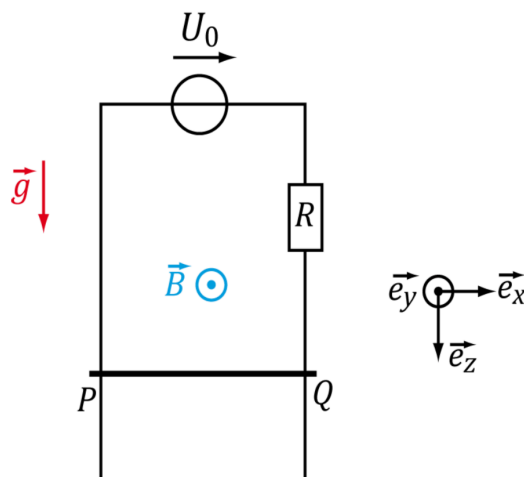
La résistance totale du circuit est notée R et elle est indépendante de la position de la barre PQ . On suppose enfin que l'inductance propre du circuit est négligeable.

Dans l'espace où peut se déplacer la barre règne un champ magnétique stationnaire et uniforme :

$$\vec{B} = B\vec{e}_y$$

A l'instant initial, la barre est lâchée sans vitesse initiale.

$$m = 0,5 \text{ g} ; U_0 = 1,5 \text{ V} ; B = 0,5 \text{ T} ; R = 8 \text{ } \Omega ; a = 5 \text{ cm}$$



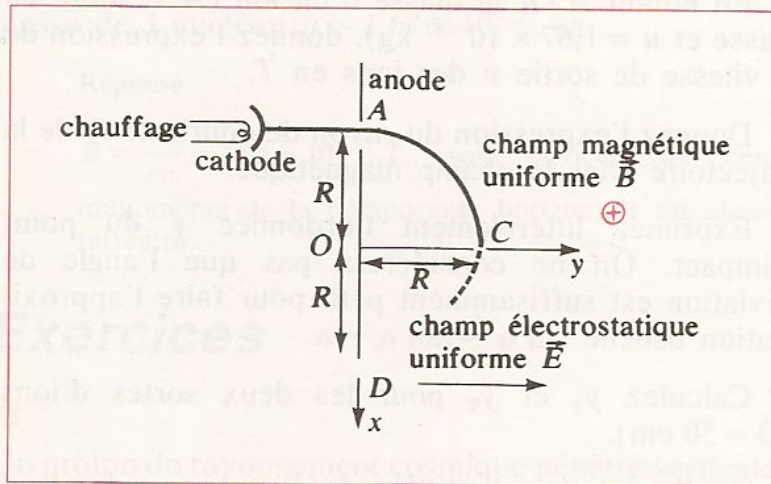
- 1) Expliquer physiquement l'apparition d'un courant induit $i(t)$ dans le dispositif et déterminer, en justifiant, son sens. Déterminer la valeur de la f.e.m (tension) induite notée $e(t)$.
- 2) Faire un schéma électrique équivalent du dispositif et en déduire l'expression du courant $i(t)$ en fonction des paramètres du problème et de la vitesse de la barre $v(t)$. Cette équation sera appelée **l'équation électrique**.
- 3) Ecrire **une équation mécanique** qui gouverne l'évolution de la vitesse de la barre $v(t)$.
- 4) Résoudre le système d'équations couplées ainsi déterminé. En déduire les expressions de la vitesse $v(t)$ et de l'intensité induite $i(t)$.
- 5) Quelle condition doit satisfaire la résistance du circuit pour que la barre tombe ? Donner une explication physique et faire l'application numérique.
- 6) Déterminer la vitesse limite prise par la barre. Faire l'application numérique.

Problème 2 : Faisceau d'électrons

1° Un faisceau d'électrons, émis d'une cathode par effet thermoélectronique est accéléré au moyen d'une anode OA . La différence de potentiel entre anode et cathode est $U_0 = 285$ volts.

Cette valeur est suffisamment faible pour que le mouvement des électrons entre les deux électrodes soit non relativiste.

En admettant que les électrons sont émis par la cathode avec une vitesse négligeable, exprimer littéralement puis numériquement la vitesse v_0 des électrons lorsqu'ils traversent le trou A .



2° Le faisceau d'électrons pénètre ensuite dans une région où règne un champ magnétique \vec{B} , dans laquelle il décrit un quart de cercle de rayon $R = 20$ cm.

Calculer littéralement (en fonction de U_0 et de R), puis numériquement, la norme B du champ magnétique.

Caractériser le vecteur-vitesse \vec{v} des électrons (direction et norme) à la traversée du trou C .

3° Le faisceau d'électrons est enfin dévié par un champ électrostatique uniforme \vec{E} parallèle à l'axe Oy , régnant dans le dièdre xOy (fig. ci-dessus).

Établir les équations horaires du mouvement projeté sur les axes Ox et Oy .

En déduire l'équation et la nature de la trajectoire. Calculer la valeur à donner à la norme E du champ électrostatique pour que le faisceau d'électrons traverse le trou D à une distance R du point O ; on exprimera E en fonction de U_0 et de R .

Données numériques :

charge de l'électron : $-e = -1,6 \times 10^{-19}$ C;

masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg.

Problème 3 : Mirages acoustiques (extrait CCP, TSI)

« En choisissant leur profondeur de plongée, les baleines parviennent à se faire entendre à des milliers de kilomètres et les sous-marinières à se dissimuler des sonars. Les cétacés, comme les sous-marins, exploitent pour cela l'équivalent acoustique des mirages lumineux. Pour expliquer comment, nous allons d'abord décrire la propagation du son, puis nous montrerons que les mirages acoustiques sont une des multiples manifestations d'un même phénomène : la déviation des ondes sonores vers les zones où leur vitesse de propagation est la plus faible. »

Les parties **I.1.** à **I.3.** sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

I.1. La propagation du son

« Lorsque nous parlons, nos cordes vocales mettent en mouvement l'air qui les entoure. L'air étant élastique, chaque couche d'air se comporte comme un ressort. La couche d'air comprimé se détend, et ce faisant comprime la couche qui la suit dans le sens de propagation du son, etc. »

I.1.a. Définir une onde ; expliquer en quoi la propagation d'une onde est un phénomène à la fois spatial et temporel. Quelle(s) grandeur(s) physique(s) peut-on associer à une onde acoustique ?

I.1.b. Le son est une onde mécanique. Que peut-on alors dire de son milieu de propagation ? Donner deux autres exemples d'ondes mécaniques (mais non acoustiques).

I.1.c. À quel intervalle de fréquences correspond le domaine des ondes sonores audibles par l'homme ? Qu'appelle-t-on « ultrasons » ? Expliquer un des usages **autres que dans les sonars** que l'homme peut faire des ultrasons.

I.1.d. Pendant un orage, on peut grossièrement évaluer la distance à laquelle est tombée la foudre. Si on divise par trois la durée (en secondes) entre l'éclair et le tonnerre, on obtient la distance cherchée (en kilomètres).

À partir de cette observation, estimer approximativement la valeur numérique de la vitesse c_{air} du son dans l'air, par temps orageux. La réponse sera justifiée.

I.2. Principe du sonar

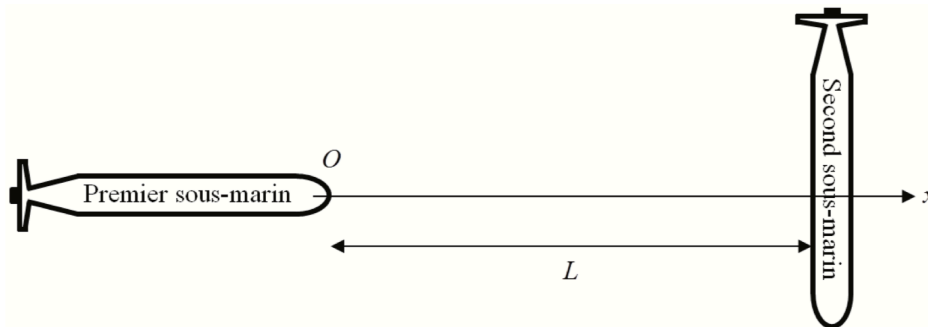


FIGURE 1 – Les sous-marins, vus du dessus

Un sonar (« SOund NAVigation and Ranging ») est un dispositif de détection utilisant les ondes acoustiques comme signal détectant. Il permet aux marins de naviguer correctement (mesure de la profondeur)

ou aux sous-mariniens de repérer les obstacles et les autres navires. Certains animaux (chauve-souris, dauphins...) utilisent des systèmes similaires au sonar pour repérer leurs proies ou des obstacles.

On suppose dans cette partie que la mer est un milieu homogène dans lequel le son se propage rectilignement. À 20 °C, la vitesse du son dans l'eau de mer est $c_{\text{mer}} = 1,50 \text{ km.s}^{-1}$.

L'avant d'un sous-marin est équipé d'un sonar lui permettant d'éviter d'entrer en collision avec un autre sous-marin. Le sonar est constitué d'un émetteur d'ondes sonores et d'un récepteur capable d'identifier l'écho de l'onde précédemment émise.

On note O l'avant du sous-marin équipé du sonar et (Ox) l'axe du sous-marin, correspondant à l'axe de propagation de l'onde sonore. Un second sous-marin est à la distance L du premier, dans la configuration représentée sur la figure 1 (page 2).

I.2.a. Expliquer le principe de fonctionnement d'un sonar.

I.2.b. L'émetteur produit une très brève impulsion sonore. Le récepteur en reçoit l'écho au bout d'une durée $\Delta t_e = 38,8 \text{ ms}$. En déduire la distance L à laquelle se situe le second sous-marin ; faire l'application numérique.

À partir de l'instant $t = 0$, le sonar émet l'impulsion sonore sinusoïdale de la figure 2, pendant une durée $\Delta t_i = 800 \mu\text{s}$.

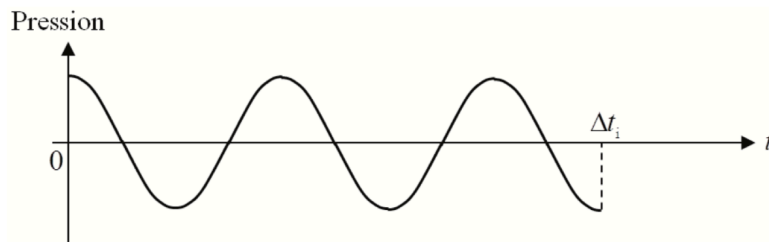


FIGURE 2 – Impulsion sinusoïdale correspondant au signal envoyé par le sonar

I.2.c. Déterminer, en justifiant, la valeur numérique de la fréquence f de l'onde émise par le sonar.

On s'intéresse à la propagation spatiale de l'impulsion sonore : on la représente alors dans le système d'axes de la figure 3.



FIGURE 3 – Propagation spatiale

I.2.d. Exprimer et calculer numériquement la longueur spatiale Δx de l'impulsion.

I.2.e. Reproduire sur la copie le système d'axes de la figure 3 et y représenter l'impulsion sonore à l'instant $t = 12,0 \text{ ms}$; calculer numériquement, en justifiant précisément, les positions du début (ou front) de l'impulsion et de sa fin.

Un détecteur d'ondes sonores est placé sur le second sous-marin, sur l'axe (Ox) .

I.2.f. Représenter sur la copie l'évolution de l'amplitude enregistrée par ce détecteur au cours du temps. Calculer numériquement, en justifiant précisément, les instants auxquels le détecteur reçoit le début et la fin de l'impulsion et on repérera ces instants sur l'axe horizontal qu'on graduera.